

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยและพัฒนาต่อยอดรถไฟฟ้า RMU – Shuttle EV เป็นการพัฒนางานวิจัยต่อยอดจากการออกแบบและวิจัยรถไฟฟ้าเดิมที่เคยมีการวิจัยที่ผลิตรถไฟฟ้าคันแรกของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามเมื่อปี พ.ศ. 2557 ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการขับเคลื่อน และเป็นรถที่มีขนาดเล็กน้ำหนักบรรทุกได้เพียง 6 คน ดังนั้นนักวิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาต่อยอดรถไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อขับเคลื่อนรถไฟฟ้า มีรายละเอียดของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า
- 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของยานยนต์
- 2.3 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนในยานยนต์ไฟฟ้า
- 2.4 ชุดเฟืองทด
- 2.5 แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า
- 2.6 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.7 การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Engineering Problem Analysis Using the Finite Element Method)
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า

เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับภาคการขนส่งทางถนน มีแนวโน้มที่เทคโนโลยีจะขยายตัวในอนาคตอันใกล้ จากข้อได้เปรียบของประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและการปลดปล่อยสารมลพิษของเทคโนโลยีของรถยนต์ต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.1 ทั้งนี้แนวคิดพื้นฐานของการใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าคือ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดมาขับเคลื่อนยานยนต์ ซึ่งพลังงานสะอาดที่กล่าวถึงได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ ทำให้มีการปลดปล่อยสารมลพิษใกล้เคียงศูนย์ (Near zero well to wheel, WTW, emissions)

ตารางที่ 2.1 การปลดปล่อยสารมลพิษตลอดช่วงอายุจากยานยนต์ขนาดเล็ก

Fuel technology	Fuel consumption (Lge/100km)	GHG (tCO ₂ -eq)		NOX (t)		SOX (kg)		PM(t)	
		WTT	TTW	WTT	TTW	WTT	TTW	WTT	TTW
2010 Global avg gasoline vehicle (Euro 2)	8.5	6.1	34.8	2E-03	84.9	2.4	12.8	1E-04	3.6
2010 Global avg diesel vehicle (Euro 2)	6.7	3.7	27.4	1E-03	121.5	1.7	804.0	7E-05	15.0
2010 New gasoline vehicle (Euro 5)	6.2	4.5	25.3	1E-03	9.0	1.8	9.3	8E-05	0.8
2010 Advanced diesel vehicle (Euro 5)	5.8	3.2	24.1	8E-04	27.0	1.5	43.5	6E-05	0.8
2010 Hybrid vehicle (Euro 5)	4.5	3.2	18.4	9E-04	9.0	1.3	6.8	6E-05	0.8
2010 EV – coal electricity	2.2	25.1	0	3E-02	0	18.7	0	2E-03	0
2010 EV – NG electricity	2.2	13.0	0	6E-03	0	4.7	0	4E-04	0
2020 FCEV –coal electricity	5.4	60.8	0	6E-02	0	45.2	0	6E-03	0
2020 FCEV –NG reforming	5.4	28.8	0	2E-02	0	11.3	0	9E-04	0

ที่มา: ยศพงษ์ ลอนนวล (2558)

อย่างไรก็ดีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีแบตเตอรี่เกี่ยวกับความหนาแน่นของพลังงาน ทั้งความหนาแน่นของพลังงานต่อมวล (Energy density by weight) และความหนาแน่นของพลังงานต่อหน่วยปริมาตร (Energy density by volume) ทำให้รถยนต์ไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันไม่ได้หมายถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนโดยตรงแต่เพียงอย่างเดียว โดยมีการพึ่งพาเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในในการขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้ามาใช้ร่วมกัน หรือเทคโนโลยีของการใช้ไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อมาเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งถือว่าเป็นยานยนต์ไฟฟ้าด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 ประเภท (Techoblitz Principle of Hybrid Engine Operation , 2010 online) ได้แก่

ก) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลัก ซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุใยานยนต์ และทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังของยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ายานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ลูกสูบขนาดเดียวกัน รวมทั้งยังสามารถนำพลังงานกลที่เหลือหรือไม่ใช้ประโยชน์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่

ข) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด โดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำใหยานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Extended range EV (EREV) และแบบ Blended PHEV โดยแบบ EREV จะเน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน แต่แบบ Blended PHEV มีการทำงานผสมผสาน

ระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้น ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ EREV สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่าง เดี่ยวมากกว่าแบบ Blended PHEV

ค) ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะ มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มี เครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาดและ ชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและ จำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้น ในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็น ต้น ทำให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น

ง) ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มี เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงมี ข้อดีหลายๆ ประการ ข้อดีที่สำคัญที่สุดคือประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงถึง 60% (อังคีร์ ศรีภคการ, 2554) และความจุพลังงานเฉพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์ เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็นคำตอบที่แท้จริงของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนและโครงสร้างพื้นฐาน เมื่อพิจารณายานยนต์ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจะพบว่ามีกฏเกณฑ์ลักษณะของอุปกรณ์และมาตรฐานที่ เกี่ยวข้องแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบยานยนต์ไฟฟ้ากับยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง

Mitsubishi i-MiEV (EV)		Mitsubishi Colt (ICE)	
			
Price	£28,990*	£14,729	Price
Motor	Rear motor 49 kW AC synchronous	1,500 cc.	Engine size
Battery	16 kWh Li-ion, 330 V, 88 cells	47 litres	Fuel tank capacity
Electric range	150 km	700 km	Driving range
Electric consumption	187.5 Wh/km	15.15 km/L	Fuel economy
Max. output	66 bhp at 2,500 – 8,000 rpm	147 bhp at 6,000 rpm	Max. output
Max. torque	180 Nm at 0 – 2,000 rpm	210 Nm at 3,500 rpm	Max. torque

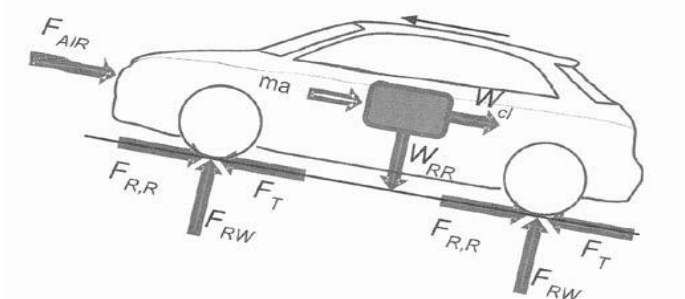
ที่มา: ยศพงษ์ ลอนนวล (2558)

ในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดได้ถูกนำมาใช้จริงแล้วในประเทศไทย ขณะที่ประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ออกจำหน่ายโดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงกว่าและการปลดปล่อยสารมลพิษที่ต่ำกว่า ยิ่งไปกว่านั้นรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่และรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง ไม่มีการปลดปล่อยสารมลพิษจากยานยนต์ระหว่างการขับเคลื่อน (Tank-to-Wheel emissions) ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเดินทางในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของยานยนต์

2.2.1 กลศาสตร์การเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้า

การที่ยานยนต์ไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เพื่อตอบสนองความต้องการในการเดินทางขนส่งได้นั้น ต้องเป็นการตอบสนองของระบบแรงผ่านกฎข้อที่สองของนิวตัน เมื่อพิจารณาภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อน แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถ และความเร่งของการเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.1 ระบบแรงที่กระทำต่อยานยนต์ไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่
ที่มา: อังคีร์ ศรีภคการ (2554)

- เมื่อ
- F_T = แรงขับเคลื่อน
 - $F_{R,R}$ = แรงต้านทานจากล้อ
 - F_{AIR} = แรงต้านจากอากาศ
 - W_d = น้ำหนักที่ถ่ายไปตามทางลาดชัน .
 - W_{RR} = น้ำหนักที่ถ่ายมายังล้อ
 - m = มวลของรถ
 - a = ความเร่ง

2.2.2 แรงต้านทานการเคลื่อนที่

ในการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนจะต้องสามารถส่งแรงขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรงต้านทานการเคลื่อนที่ต่าง ๆ เพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้ตามต้องการ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.2.2.1 แรงต้านทานการกลิ้ง

คือการตอบสนองของแรงต้านต่อแรงขับที่ได้จากต้นกำลังของยานยนต์ไฟฟ้าที่จะทำได้ แรงต้านทานการกลิ้งเป็นการสูญเสียในตัวอย่างที่เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย โดยปัจจัยหลักมาจากการเสีรูปร่างของล้ออย่างต่อเนื่องเมื่อบิดไปกับพื้นถนน รวมไปถึงการเกาะยึดและลื่นไหลของดอกยาง เป้าหมายของการออกแบบยางจึงเป็นการออกแบบให้มีการยึดเกาะกับพื้นถนนได้ดีที่สุดในขณะที่ให้แรงเสียดทานที่น้อย แรงต้านทานการกลิ้งแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของยานยนต์ที่ถ่ายลงมายังล้อ โดยมีตัวคูณที่ขึ้นกับสมการของการสัมผัสระหว่างผิวยางและพื้นถนนที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการกลิ้ง ซึ่งขึ้นกับความเร็วของรถและแรงดันลมยาง ตัวเลขโดยทั่วไปของค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการกลิ้งนี้มีมูลค่าราว 0.7-0.4 % ของน้ำหนักที่ถ่ายมายังล้อ

การคำนวณแรงต้านทานการกลิ้ง

$$F_r = f_r mg \cos \theta \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$F_r = \text{แรงต้านทานการกลิ้ง } N$$

$$f_r = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการกลิ้ง (ขึ้นอยู่กับชนิดของยาง)}$$

$$m = \text{มวลรวมของยานยนต์ไฟฟ้าหรือน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด } kg$$

$$g = \text{ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก } 9.81 \text{ } m/s^2$$

$$\theta = \text{มุมความลาดเอียงของพื้นถนน (เรเดียน)}$$

2.2.2.2 แรงต้านจากอากาศ

เมื่อยานยนต์ขับเคลื่อนผ่านมวลอากาศจะเกิดแรงต้านจากอากาศ ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ใน 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นผลจากแรงเฉือนจากอากาศที่ไหลผ่านตัวรถ ซึ่งมีผลไม่มากนักในกรณีการขับเคลื่อนของยานยนต์ทั่วไป ส่วนที่สองคือแรงต้านอากาศที่เป็นผลจากลักษณะรูปร่าง ที่เรียกว่า Form drag ซึ่งขึ้นอยู่กับว่ารูปร่างตัวถังรถจะรบกวนกระแสการคำนวณแรงต้านทานการเคลื่อนที่อากาศที่ไหลผ่านตัวรถอย่างไร โดยการรบกวนกระแสอากาศจากการขับเคลื่อนตัวรถจะสร้างบริเวณที่มีความดันต่ำด้านท้ายตัวรถ ด้วยความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้าที่มีค่าสูงและด้านหลังที่มีค่าต่ำจึงส่งผลเป็นแรงต้านจากอากาศค่าที่ระบุถึงระดับการรบกวนกระแส

อากาศที่จะส่งผลเป็นแรงต้านจากอากาศ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ซึ่งในการออกแบบยานยนต์ ค่าโดยเฉลี่ยสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอยู่ที่ 0.3-2.4 แต่ก็มีค่าได้ถึง 1.5 สำหรับรถบรรทุกหรือรถไฟ ลงมาถึงราว 0.7-0.9 สำหรับรถบัสโดยสาร 0.6 สำหรับรถมอเตอร์ไซด์ 0.45 สำหรับรถกึ่งเอนกประสงค์ (SUV) และสำหรับรถที่ถูกออกแบบมาเพื่อการประหยัดพลังงานก็มีค่าได้ต่ำถึงราว 0.2 - 0.19 โดยรวมแล้วแรงต้านจากอากาศจะแปรผันกับความเร็วของรถแบบยกกำลังสอง ดังนั้น แรงต้านจากอากาศจะมีผลได้มากในการขับขี่ที่ความเร็วสูง

การคำนวณแรงต้านจากอากาศ

$$F_d = 1/2 \rho A C_d v^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ F_d = แรงต้านทานจากอากาศ N

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ kg / m^3

A = พื้นที่หน้าตัดของรถ m^2

C_d = สัมประสิทธิ์ความต้านทาน (Drag coefficient)

v = ความเร็วของรถ m / sec

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลจำเพาะของยานยนต์ประเภทต่างๆ

ประเภทของยานยนต์	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	C_d	A	f_r
จักรยาน	130	0.9	0.30	0.0044
รถจักรยานยนต์	190	0.9	0.60	0.014
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดเล็ก	1200	0.30	1.9	0.012
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดกลาง	1,600	0.32	2.2	0.013
รถ SUV ขนาดกลาง	2,000	0.42	2.8	0.015
รถโดยสารในเมือง (30ที่นั่ง)	13,300	0.9	8	0.009

ที่มา: อังศิริ ศรีภคกร (2554)

นอกเหนือจากแรงต้านที่มาจากสัมผัสของรถยนต์กับพื้นและมวลอากาศโดยรอบ เมื่อรถขึ้นทางลาดชัน น้ำหนักของตัวรถจะส่งผลเป็นแรงต้านทานการกลิ้งแล้วยังจะเกิดแรงย่อยจากน้ำหนักของรถในทิศทางที่ตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ คือน้ำหนักที่ถ่ายไปตามทางลาดชัน หรือหากรถลงทางลาดชันก็จะเกิดแรงย่อยของน้ำหนักของรถขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของรถยนต์

การคำนวณน้ำหนักที่ถ่ายไปตามทางลาดชัน

$$W_d = mg \sin \theta \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$W_d = \text{น้ำหนักที่ถ่ายไปตามทางลาดชัน } N$$

$$\theta = \text{มุมความลาดเอียงของพื้นถนน (เรเดียน)}$$

2.2.2.3 แรงต้านทานจากการเร่ง

การที่ยานยนต์จะขับเคลื่อนที่ หมายถึง การออกตัวจากหยุดนิ่ง รวมทั้งการเร่งตัวเพื่อไปสู่ความเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งก็หมายถึงว่าที่ความเร็วหนึ่ง ๆ นอกจากยานยนต์จะต้องการแรงขับที่จะเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดที่ความเร็วนั้น ยังต้องการแรงขับที่เกินจากแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อสร้างความเร่งด้วยแรงต้านจากความเร่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือแรงต้านจากความเร่งเชิงเส้นซึ่งหมายถึงความเร่งในการเคลื่อนที่ของตัวยานยนต์นั่นเอง ส่วนที่สอง คือแรงต้านจากความเร่งเชิงมุมซึ่งเกิดขึ้นในส่วนประกอบของรถที่หมุนในขณะขับเคลื่อน อันประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือต้นกำลังและล้อ เช่น การหมุนของเครื่องยนต์ มอเตอร์ ชุดเฟือง และล้อ

การคำนวณแรงต้านจากความเร่ง

แรงต้านจากความเร่ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แรงเพื่อความเร่งเชิงเส้น และแรงเพื่อความเร่งเชิงมุม สมการการคำนวณแรงความเร่งเชิงเส้นดังนี้

$$F_{a,l} = ma \quad (2.4)$$

$$F_{a,wh} = \frac{\eta_{wh} I_{wh} a}{r^2} \quad (2.5)$$

แรงความเร่งเชิงมุมนั้นเกิดขึ้นในส่วนประกอบของรถที่เกิดการหมุนในขณะขับเคลื่อนส่วนประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับแรงต้านจากความเร่งเชิงมุมก็คือล้อและเพลาขับต้นกำลังดังสมการ

$$F_{a,m} = \frac{I_m G^2 a}{r^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$F_{a,l}$ = แรงต้านจากความเร่งเชิงเส้น

$F_{a,wh}$ = แรงต้านจากความเร่งเชิงมุมของล้อ

$F_{a,m}$ = แรงต้านจากความเร่งเชิงมุมของเพลลาขับของต้นกำลัง

I_{wh} = โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อแต่ละล้อ

I_m = โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลลาขับของต้นกำลัง

a = ความเร่งของรถ

r = รัศมีของล้อ

G = อัตราทดจากต้นกำลังถึงล้อ โดยเป็นผลคูณของอัตราทดเฟือง i_g และอัตราทดเฟืองท้าย i_o

η_{wh} = จำนวนล้อ

สมการที่สรุปรวมแรงต้านจากความเร่ง ได้ดังนี้

$$F_a = F_{a,l} + F_{a,wh} + F_{a,m} = ma \left[I + \frac{\eta_{wh} I_{wh} a}{r^2} + \frac{I_m G^2 a}{r^2} \right] = ma(I + \delta_1 + \delta_2 G^2) \quad (2.7)$$

โดยกรณีของยานยนต์ส่วนบุคคล ค่า δ_1 และ δ_2 อยู่ที่ 0.04 และ 0.0025 ตามลำดับ

2.2.3 การหาปริมาณการใช้พลังงานในยานยนต์ไฟฟ้า

นอกเหนือจากการประเมินสมรรถนะในส่วนของความเร็วหรืออัตราเร่งแล้ว ค่าบ่งชี้สมรรถนะหนึ่งที่สำคัญมากคือปริมาณการใช้พลังงานต่อระยะขับชี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีปริมาณพลังงานเก็บกักในตัวอย่างจำกัด ค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อระยะขับชี้ เช่น ในหน่วย kwh/km บ่งชี้โดยตรงกลับประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนนั้นๆ และในกรณีของยานยนต์ไฟฟ้าบ่งชี้ถึงระยะขับชี้ที่จะทำได้ต่อครั้งของการ ประจุไฟฟ้า

แนวทางการคำนวณกำลังขับจากต้นกำลัง และจากแรงต้านการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆ และแรงต้านจากความเร่ง กำลังที่ต้องการจากต้นกำลังสามารถถูกประเมินได้จากสมการ

$$P = \frac{v}{\eta_t} \left[F_r + F_d + F_a \left(m + \frac{\eta_{wh} I_{wh}}{r^2} + \frac{I_m G^2}{r^2} \right) \frac{dv}{dt} \right] \quad (2.8)$$

ในขณะที่ความเร็วของต้นกำลังจะเท่ากับ

$$N_{engine} = \frac{30 \cdot i_g \cdot i_o}{\pi r_d} \quad (2.9)$$

เมื่อ

i_g = อัตราทดเฟือง

i_o = อัตราทดเฟืองท้าย

η_t = ค่าประสิทธิภาพของชุดส่งกำลังจากต้นกำลังไปยังล้อ มีค่าได้ตั้งแต่ 75-90%

ในทางปฏิบัติ การออกแบบจำเป็นต้องประเมินปริมาณการใช้พลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า รูปแบบหนึ่งๆ และในชีวิตจริง ข้อมูลในตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณการใช้พลังงานสำหรับยานยนต์ รูปแบบต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการหาค่าประมาณปริมาณการใช้พลังงานต่อระยะการขับขี่ โดยค่าที่ระบุเป็นค่าพลังงานที่ต้องการที่ล้อเพื่อการขับเคลื่อน ดังนั้น เมื่อต้องการประเมินค่าพลังงานที่ต้องการจากแหล่งพลังงาน เช่น แบตเตอรี่หรือน้ำมันเชื้อเพลิง ก็ต้องคูณด้วยค่าประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน ซึ่งในกรณีของยานยนต์ไฟฟ้าตัวเลขโดยประมาณอาจอยู่ที่ 0.8 ในขณะที่กรณีของเครื่องยนต์อาจอยู่ที่ 0.18 และ 0.22 สำหรับเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล ตามลำดับ การใช้ข้อมูลนี้ เพื่อประเมินขนาดของแบตเตอรี่ ก็ต้องตระหนักถึงความแตกต่างระหว่างพิกัดความจุพลังงานและความจุใช้งาน

ตารางที่ 2.4 ปริมาณพลังงานที่ล้อขับเคลื่อนของยานยนต์รูปแบบต่างๆ

รูปแบบยานยนต์	Kw/Km
รถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลขนาดเล็ก	90
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดเล็ก	130
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดกลาง	150
รถเก๋งอเนกประสงค์ (SUV) ขนาดเล็ก	150
รถเก๋งอเนกประสงค์ (SUV) ขนาดใหญ่	200
รถกระบะ	200
รถออลพขนาด ที่นั่ง 6-4	75

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

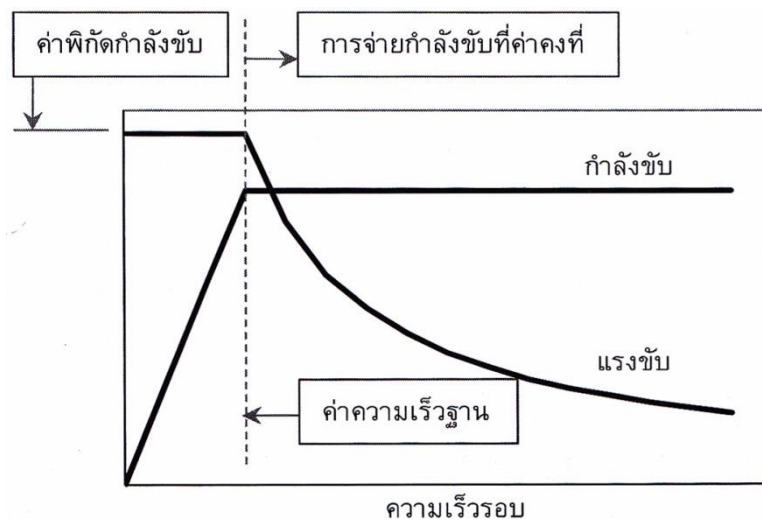
รูปแบบยานยนต์	Kw/Km
รถมอเตอร์ไซค์	28
รถจักรยาน	7
รถโดยสารภายใน ขนาด 10 ที่นั่ง	250
รถโดยสารภายใน ขนาด 16 ที่นั่ง (4.5 ตัน)	340
รถโดยสารภายใน ขนาด 40 ที่นั่ง (13 ตัน)	750
รถเมล์ขั้วขึ้นเมือง (13 ตัน)	1,700

ที่มา: อังศิริ ศรีภคากร (2554)

2.2.4 แรงขับเคลื่อนกำลังของยานยนต์ไฟฟ้า

จากแรงต้านการเคลื่อนที่และแรงต้านจากความเร่งข้างต้น สมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้าถูกระบุได้ด้วยการเทียบแรงขับเคลื่อนกำลังกับผลรวมของแรงต้านทั้งส่วนข้างต้น ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า ลักษณะการจ่ายแรงขับเคลื่อนต่อความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือการจ่ายกำลังขับเคลื่อนที่ค่าคงที่ตลอดย่านความเร็วขับเคลื่อน ซึ่งจะทำให้การออกตัวและการขึ้นทางลาดชันที่ดีที่สุดที่ความเร็วต่ำ ในขณะที่ให้ความนุ่มนวลและการประหยัดพลังงานที่ดีที่ความเร็วสูง กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังขับเคลื่อนและแรงขับเคลื่อนจะสังเกตได้ว่าที่ความเร็วต่ำแทนที่จะจ่ายกำลังขับเคลื่อนที่ค่าคงที่แต่จะมีการจำกัดค่าแรงขับเคลื่อนสูงสุด ทั้งนี้เพื่อให้ค่าแรงขับเคลื่อนที่ล้นออกตัวมีค่าสูงเกินที่หน้าสัมผัสระหว่างยานยนต์และพื้นถนนจะรับได้ซึ่งจะเกิดการลื่นไถลของล้อและหมายถึงการไม่เคลื่อนที่ของตัวรถและการสูญเสียพลังงานได้

เพื่อสมรรถนะการขับเคลื่อน มอเตอร์ต้องสามารถจ่ายแรงบิดและกำลังขับเคลื่อนได้อย่างเหมาะสมเพื่ออัตราเร่งในการออกตัว มอเตอร์ต้องให้แรงบิดที่เพียงพอ ในขณะที่การขับเคลื่อนที่ความเร็วสูงสุดนั้น มอเตอร์ต้องให้กำลังขับเคลื่อนที่มีลักษณะการแปรผันระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อการขับเคลื่อน แสดงได้ดังภาพที่ 2.2 โดยในการออกตัวนั้น แรงบิดจะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าประมาณคงที่ไปถึงความเร็วรอบหนึ่งๆที่เรียกว่าความเร็วฐานของมอเตอร์ ซึ่งเป็นค่าความเร็วอ้างอิงสำหรับกำหนดค่าพิกัดกำลังมอเตอร์ และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเกินความเร็วฐานแรงบิดจะลดต่ำลงและให้กำลังขับเคลื่อนที่โดยมอเตอร์ที่ให้แรงบิดได้สูงที่รอบต่ำหมายถึงการออกตัวและการขึ้นทางชันได้ดี และหากให้ช่วงแรงบิดคงที่สูงสุดที่กว้าง ก็จะทำให้ลดความจำเป็นในการใช้ชุดเฟืองทดได้ สำหรับการใช้งานในยานยนต์นั้น มีข้อแนะนำว่าเพื่อให้พิกัดกำลังของมอเตอร์ต่ำที่สุด อัตราส่วนค่าความเร็วสูงสุดต่อความเร็วฐานควรมีค่าราว 5-6 ในขณะที่ความเร็วทำงานสูงสุดอาจสูงถึง 13,000-16,000 รอบต่อนาที

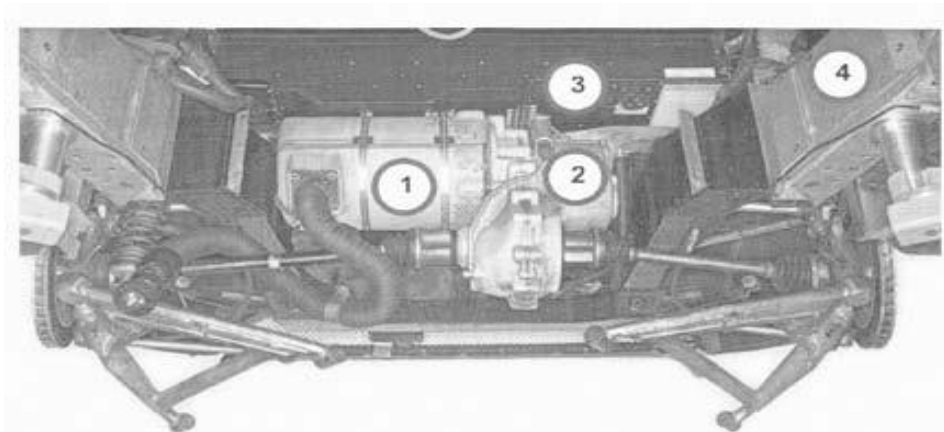


ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงแรงบิดและกำลังขับที่เหมาะสมสำหรับขับเคลื่อนยานยนต์
ที่มา :อังคีร์ ศรีภคการ (2554)

2.3 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนในยานยนต์ไฟฟ้า

ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังและชุดเฟืองทด ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า การพิจารณาเลือกมอเตอร์ขับเคลื่อนและชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง ในขณะที่ชุดเฟืองทดจะถูกพิจารณาแยกออก เนื่องจากด้วยลักษณะเฉพาะของการให้แรงบิดต่อความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ามีลักษณะที่เหมาะสม ทำให้การปรับลักษณะแรงบิดสามารถทำได้ผ่านการควบคุมทางไฟฟ้า และสามารถกำจัดชุดเฟืองทดออกไปได้ในหลายกรณี

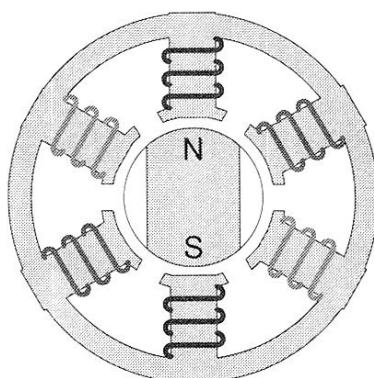
การขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้าต้องมีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงความเร็วรอบและช่วงแรงบิดที่กว้าง และให้การทำงานแบบ Regenerative braking ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น ยังต้องมีความทนทานต่อสภาวะการทำงานต่างๆ ทั้งอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน และการขาดการบำรุงรักษาซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานในยานยนต์



(1) มอเตอร์ (2) ชุดเฟืองทดแบบอัตราทดคงที่ (3) ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง (4) แบตเตอรี่
 ภาพที่ 2.3 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนในยานยนต์ไฟฟ้า Tesla Roadster
 ที่มา : <http://www.teslamotors.com/models>

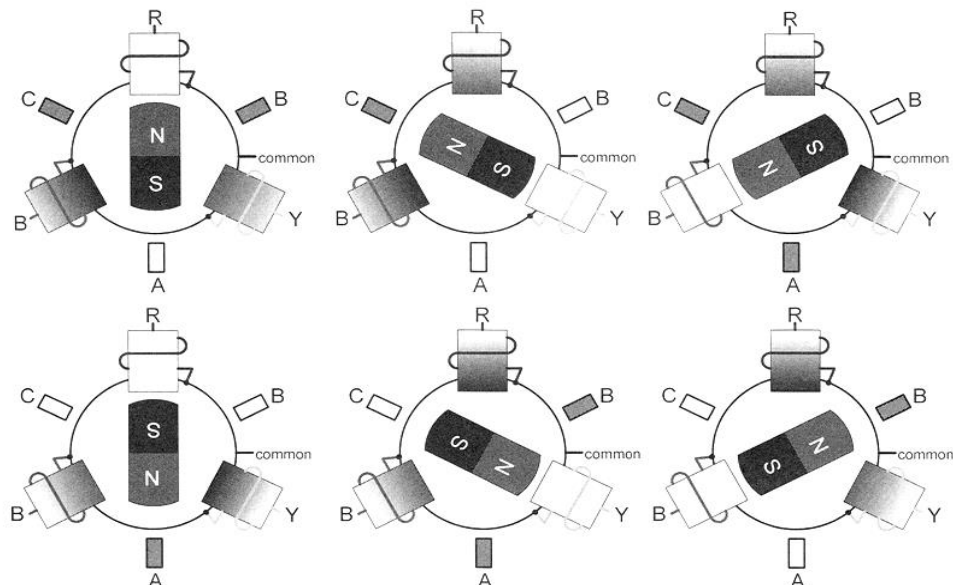
2.3.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านหรือเรียกว่ามอเตอร์แบบ Brushless DC (BLDC) มีการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนับว่าเป็นทางเลือกที่นิยมมากในการนำมาเป็นต้นกำลัง สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันทั้งราคาและประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านหรือเรียกว่า BLDC โครงสร้างของมอเตอร์แบบ BLDC แสดงได้ดังภาพที่ 2.4 โดยมีแกนหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร และมีขดลวดสเตเตอร์อย่างน้อยสามชุดที่วางตัวกันห่าง 120 องศาในเฟสทางไฟฟ้า



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของมอเตอร์แบบ BLDC
 ที่มา : Peter F. Ryff (1994)

หลักการทำงานของมอเตอร์ BLDC ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กที่หมุนรอบแกน แต่สำหรับมอเตอร์แบบ BLDC นั้น แทนที่จะใช้รูปแบบทางกลดังมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน ขดของขดลวดบนสเตเตอร์ที่ติดตั้งโดยรอบแกนหมุนจะถูกกำหนดให้ทำงานสลับเฟสไปอย่างต่อเนื่องด้วยการติดต่อทางไฟฟ้ากำลังดังภาพที่ 2.5 แสดงการหมุนของแกนหมุนใน 6 ตำแหน่งการทำงาน ในการทำงานนี้ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดในสเตเตอร์จะต้องมีการสลับให้สอดคล้องกับตำแหน่งการวางตัวของแกนหมุน



ภาพที่ 2.5 การทำงานของมอเตอร์แบบ BLDC ในจังหวะการหมุนต่างๆ
ที่มา : อังศิรั ศรีภคการ (2554)

ตารางที่ 2.5 แสดงการทำงานของเฟสแต่ละเฟสในมอเตอร์แบบ BLDC

ตำแหน่ง	เฟส R	เฟส Y	เฟส B	Hall A	Hall B	Hall C
0	0	+V	-V	0	1	1
1	+V	0	-V	0	0	1
2	+V	-V	0	1	0	1
3	0	-V	+V	1	0	0
4	-V	0	+V	1	1	0

ที่มา : อังศิรั ศรีภคการ (2554)

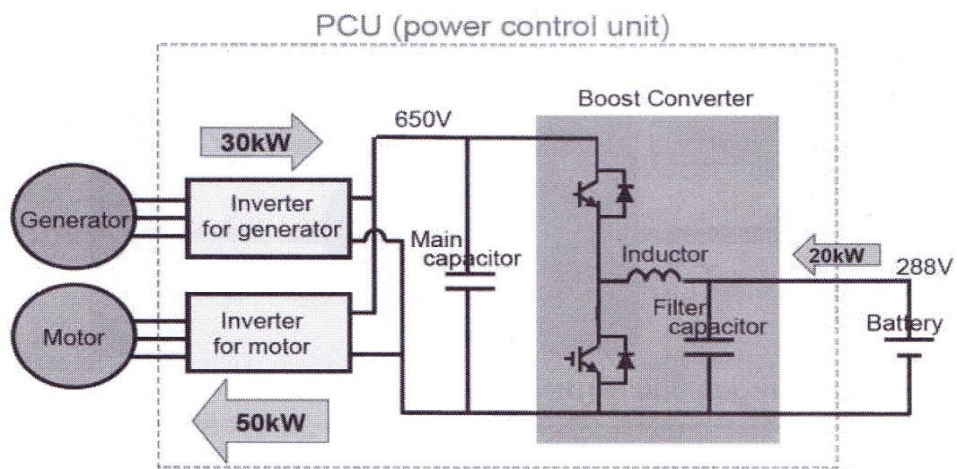
การตรวจจับตำแหน่งเพื่อการทำงานได้ของมอเตอร์แบบ BLDC ดังตารางที่ 2.5 นั้นโดยทั่วไปจะใช้ตัวตรวจจับแบบ Hall ซึ่งไร้การสัมผัส หรือในอีกรูปแบบหนึ่ง จะใช้แรงดันย้อนกลับในขดลวดที่ไม่ได้ถูกจ่ายไฟอยู่เพื่อระบุตำแหน่งของแกนหมุนแทน รูปแบบนี้เรียกว่าการควบคุมแบบไร้ตัวตรวจจับ (Sensor less control) ดังนั้น ระบบควบคุมมอเตอร์แบบ BLDC จึงซับซ้อนกว่าระบบควบคุมมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน แต่ก็สามารถควบคุมมอเตอร์ได้อย่างยืดหยุ่น โดยแรงบิดสามารถควบคุมได้ โดยการปรับค่ากระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดลวด และความเร็วก้ควบคุมได้โดยปรับความถี่ของการสลับกระแสไฟฟ้า การทำงานข้างต้นจะทำให้การหมุนของมอเตอร์แบบ Synchronous กล่าวคือ มีความเร็วการหมุนตรงกับความเร็วของการหมุนไปของสนามแม่เหล็กรอบแกนหมุนไม่ว่าจะมีภาระหรือไม่ มอเตอร์แบบ BLDC จึงเป็นรูปแบบหนึ่งของมอเตอร์แบบ Synchronous ลักษณะการทำงานข้างต้น จะพบว่าในขณะที่เริ่มต้นทำงานหากไม่มีกลไกใดๆ เพิ่มเติมมอเตอร์แบบ Synchronous นี้จะเริ่มต้นหมุนเองไม่ได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อชุดควบคุมมอเตอร์สร้างสนามแม่เหล็กที่หมุนรอบแกน แต่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน ความเฉื่อยของแกนหมุนจะไม่สามารถให้แกนหมุนเริ่มหมุนได้ดังนั้น วิธีหนึ่งที่ใช้ได้แก่ การต่อเชื่อม Field winding ในรูปแบบการทำงานคล้ายมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อเริ่มการหมุนได้ และเข้าจับตำแหน่งในลักษณะการทำงานแบบ Synchronous ในที่สุด

พฤติกรรมของมอเตอร์แบบ BLDC ลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบของมอเตอร์แบบ BLDC มีลักษณะที่คล้ายกับของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน และจากที่แกนหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร เมื่อทำงานที่ความเร็วสูงจึงมีแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back voltage) เช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์และจากการที่ใช้แกนหมุนเป็นแม่เหล็กถาวรจึงไม่มีการสูญเสียจากการเหนี่ยวนำในแกนหมุน รวมทั้งไม่มีการสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้า $I^2 R$ ดังนั้น มอเตอร์แบบ BLDC จึงมีประสิทธิภาพดีและมีความทนทาน

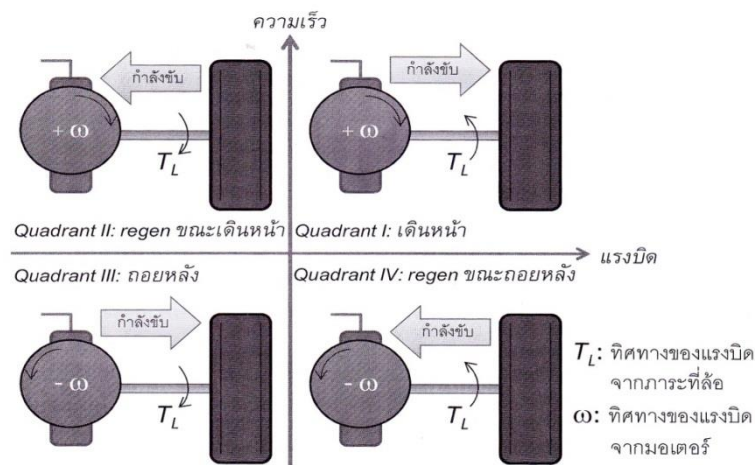
2.3.2 ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง

ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างมอเตอร์และแหล่งพลังงานทางไฟฟ้าเช่น แบตเตอรี่ ในส่วนแรก ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังประกอบด้วยชุดควบคุมมอเตอร์ที่ส่งรูปแบบของกระแสและแรงดันให้แก่มอเตอร์ ซึ่งการขับเคลื่อนเดินหน้าเป็นเพียงรูปแบบหนึ่งของการทำงานของมอเตอร์ใน 4 รูปแบบ หลักที่เรียกว่า Four-Quadrant operation ดังภาพที่ 2.6 ประกอบด้วย (1) การขับเคลื่อนหน้า (2) การทำ Regenerative braking ขณะเดินหน้า (3) การขับถอยหลัง และ (4) การทำ Regenerative braking ขณะถอยหลัง ในขณะที่การทำงานในแต่ละรูปแบบยังมีกลยุทธ์ย่อยเพื่อสมรรถนะการขับหรือการประหยัดพลังงานอีก เช่น การออกตัวแบบ Torque control หรือ Speed control

ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังยังประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อยที่เรียกรวมว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานให้อยู่ในรูปแบบของกระแสและแรงดันที่เหมาะสม โดยอาจเป็นการเพิ่มระดับแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากแบตเตอรี่ให้สูงขึ้นก่อนเข้าสู่ชุดควบคุมมอเตอร์เพื่อส่งไปยังมอเตอร์ขับเคลื่อนอีกทอดหนึ่งโดยใช้ DC-DC Converter หรือเป็นการรับกระแสไฟฟ้าสามเฟสมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงการทำงานแบบ Regenerative braking มาแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายไปยังชุดควบคุมมอเตอร์หรือกลับไปประจุไฟฟ้ายังแบตเตอรี่



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง
ที่มา : อังคีร์ ศรีภคการ (2554)

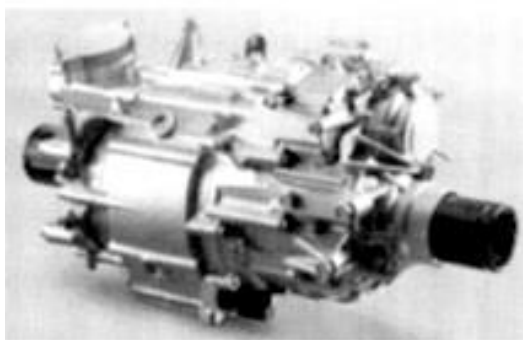


ภาพที่ 2.7 การทำงานของมอเตอร์ใน 4 รูปแบบหลัก (Four-Operation)
ที่มา : อังคีร์ ศรีภคการ (2554)

โดยใช้อินเวอร์เตอร์ซึ่งในการทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้ การปรับรูปแบบของแรงดันนอกจากจากไฟกระแสตรงไปเป็นกระแสสลับและในทางกลับกันแล้วการปรับระดับแรงดันและความถี่ของไฟกระแสสลับก็เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้อย่างคล่องตัว ซึ่งการปรับดังกล่าวทำได้ด้วยเทคนิค Pulse-width modulation

2.4 ชุดเฟืองทด

สำหรับระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าโดยมากมักจะไม่ใช่จำเป็นต้องใช้เฟืองทดมากอัตราทดเหมือนระบบขับเคลื่อนที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ามีลักษณะเฉพาะของการแปรเปลี่ยนแรงบิดกับความเร็วยกเว้นที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการขับเคลื่อน คือมีแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วเป็นศูนย์ ทำให้การออกตัวเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้น เมื่อความเร็วรอบสูงเกินความเร็วฐานของมอเตอร์ การขับเคลื่อนก็จะเป็นรูปแบบกำลังคงที่ ผลก็คือการพัฒนาขานยนต์ไฟฟ้าโดยทั่วไป จะใช้เพียงชุดเฟืองทดให้ได้อัตราทดคงที่ที่ต้องการหนึ่งๆ เท่านั้น การปรับความเร็วรอบในการขับเคลื่อนจะทำได้จากชุดควบคุมมอเตอร์ ตัวอย่างเฟืองทดของขานยนต์ไฟฟ้างานภาพที่ 2.8



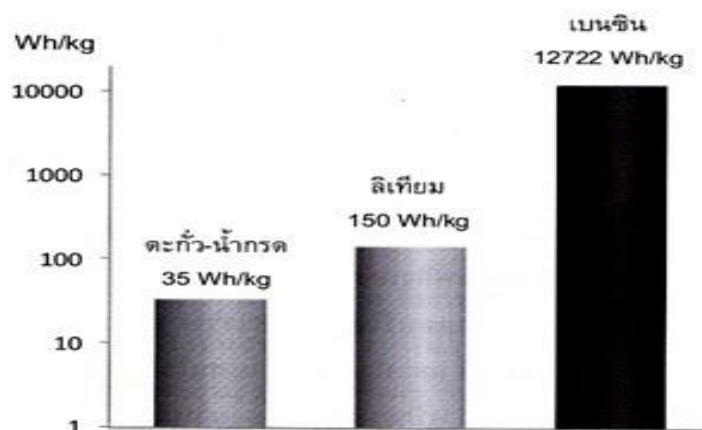
ภาพที่ 2.8 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของขานยนต์เซลล์เชื้อเพลิงซึ่งมีอัตราทดของชุดเฟืองทดที่
ที่มา : อังศิริ ศรีภคการ (2554)

2.5 แบตเตอรี่ในขานยนต์ไฟฟ้า

ในปัจจุบัน มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าในหลายรูปแบบที่ถูกนำมาใช้เพื่อการขับเคลื่อนขานยนต์ไฟฟ้าแน่นอนว่าแบตเตอรี่ คือแหล่งพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่สุดที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในปัจจุบันมีได้หลากหลาย เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรด นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ หรือ ลิเทียมไอออน นอกเหนือจากแบตเตอรี่แล้วชุดเก็บประจุความจุสูงและเซลล์เชื้อเพลิงก็ถูกนำมาใช้

ความจุของแบตเตอรี่ หมายถึงการระบุปริมาณพลังงานทางไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จะจ่ายได้ต่อการประจุไฟฟ้าครั้งหนึ่ง โดยการบอกความจุของแบตเตอรี่จะบอกเป็นหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมงที่อัตรา

ชั่วโมงที่กำหนดซึ่งเมื่อคูณกับค่าแรงดันระบุของแบตเตอรี่ก้อนนั้นๆ ก็จะได้ปริมาณพลังงานทางไฟฟ้าในหน่วย Watt-Hour ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ก้อนหนึ่งมีขนาด 20 แอมแปร์-ชั่วโมงที่อัตรา 5 ชั่วโมง จะหมายถึงว่า โดยค่าระบุแล้ว แบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ที่ระดับกระแส C rating/HR rate หรือ 0.2 C คือ 4 แอมแปร์ในกรณีนี้ ตลอดช่วงเวลา 5 ชั่วโมง โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้านั้นยังให้ค่าแรงดันที่คงที่ไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของแบตเตอรี่ภายใต้การกระจายที่ค่าคงที่ต่างๆ สามารถเห็นได้จากภาพที่ 2.9 กล่าวคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยยิ่งค่ากระแสสูงการลดของแรงดันก็จะยิ่งรวดเร็วขึ้น โดยค่าแรงดันต่ำสุดที่แสดงในภาพคือค่าระบุจากผู้ผลิต ที่การใช้งานแบตเตอรี่ให้มีค่าแรงดันที่ต่ำกว่านี้จะมีผลเสียหายอย่างถาวรต่อแบตเตอรี่ได้

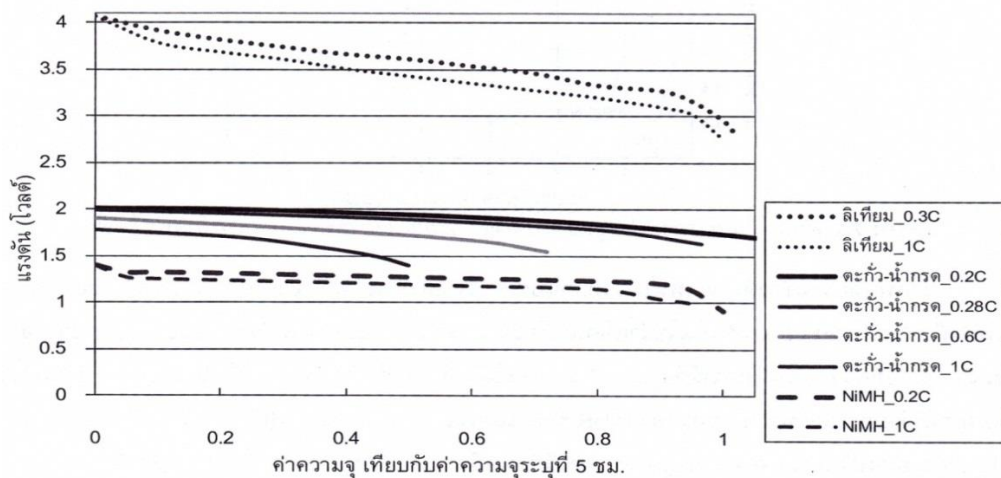


ภาพที่ 2.9 เปรียบเทียบความจุพลังงานของแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนยานยนต์
ที่มา : อังศิริ ศรีภคากร (2554)

2.5.1 รูปแบบการประจุไฟฟ้า

ในการประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรดนั้น ขั้นตอนที่ครบถ้วนจะประกอบด้วย การประจุไฟฟ้าใน 3 ขั้นตอนด้วยกันดัง ขั้นตอนแรกเรียกว่า Bulk charge โดยเป็นการจ่ายกระแสในช่วงแรกด้วยระดับกระแสสูงสุดเท่าที่แบตเตอรี่จะรับได้ สำหรับการจำกัดค่ากระแสนั้น ในแบตเตอรี่ขนาดปกติจะใช้ค่ากระแสที่ 10-30% ของค่าพิกัด Ah เช่น สำหรับแบตเตอรี่ 40 Ah จะประจำที่ค่ากระแสไม่เกิน 12 แอมแปร์ ในขั้นตอนนี้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีย้อนกลับเพื่อรับพลังงานทำได้มีประสิทธิภาพมากและพลังงานกว่า 70% ของระดับเต็มถูกประจุในขั้นตอนนี้ ในขั้นตอนนี้แรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนได้ประมาณ 80% ของระดับเต็ม สำหรับแบตเตอรี่ขนาดปกติขั้นตอนนี้ใช้เวลาราว 5 ชั่วโมง จากนั้นเป็นขั้นตอน Topping charge หรือ Absorption charge ซึ่งค่ากระแส

ในการประจุไฟจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสารเคมีที่มีอยู่ถูกใช้หมดไปมากแล้ว แบตเตอรี่จะเริ่มร้อนขึ้น ขั้นตอนนี้ใช้เวลาอีกประมาณ 5 ชั่วโมง แต่ก็เป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ยาวนาน ทั้งนี้เพราะการขาดขั้นตอนนี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Sulfating (เกลือหรือเอสเทอร์ของกรดกำมะถัน) คือการสะสมตัวของสาร Lead sulfate ที่ผิวหน้าของแผ่นตะกั่ว ซึ่งจะเคลือบเป็นแผ่นแข็งทึบทำให้รูพรุนที่จำเป็นต่อการทำปฏิกิริยาเสียหายและแบตเตอรี่ไม่สามารถรับการประจุพลังงานจนเต็ม 100% ได้อีก และมีผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้เป็นอย่างมาก เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ แรงดันจะถึงระดับสิ้นสุดพร้อมการดิงกระแสนในการประจุที่ลดลงเหลือต่ำกว่า 3% ของค่าสูงสุดจากขั้นตอนที่แล้ว แบตเตอรี่เรียกได้ว่ามีระดับ พลังงานเต็มแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายที่เรียกว่า Float charge maintenance charge หรือ Trickle charge มีเป้าหมายจ่ายแรงดันเพื่อชดเชยการสูญเสียประจุด้วยตัวเองและรักษาแบตเตอรี่เต็มอยู่เสมอ พร้อมช่วยลดการเกิดแก๊วและช่วยยืดอายุของแบตเตอรี่ได้ โดยจะเป็นกालระดับแรงดันประจุไฟฟ้าลงเหลือ 12.8-13.2 โวลต์

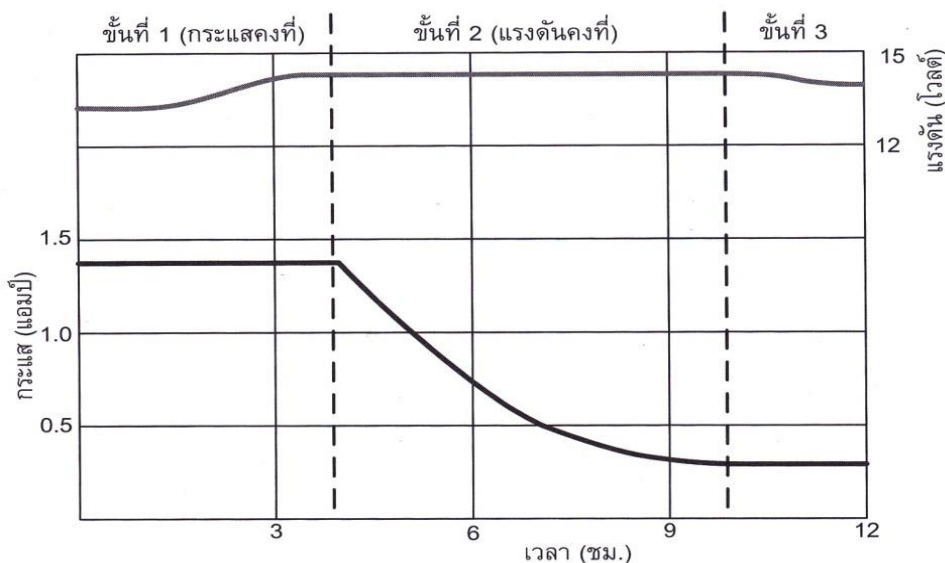


ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการแปรผันความจุของแบตเตอรี่กับอัตราการคายกระแส
ที่มา : Karden (2007)

2.5.2 การควบคุมระดับการประจุ

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรด การระบุระดับการประจุนั้นทำได้ 2 วิธี วิธีแรก คือ การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการวัดโดยตรงและให้ค่าที่แม่นยำที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีนี้ทางปฏิบัติก็มักจะแทบเป็นไปไม่ได้ที่จะวัดค่าความถ่วงจำเพาะจากแบตเตอรี่ที่ถูกติดอยู่กับยานยนต์ วิธีที่สอง ได้แก่การวัดแรงดันขณะไม่รับภาระ จากตารางที่ 2.4 ระบุถึงความสัมพันธ์ของแรงดันขณะไม่รับภาระกับระดับพลังงานที่มีอยู่ในรูปของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ โดยสังเกต

ว่าแบตเตอรี่ขนาดระบุ 10 โวลต์นั้น แรงดันขณะไม่รับภาระเมื่อถูกประจุไฟจนเต็มที 12.7 โวลต์ ในขณะที่หากแบตเตอรี่แสดงค่าแรงดันขณะไม่รับภาระที่ 12 โวลต์ตามค่าระบุก็หมายถึงมีระดับการจุประจุหมดจนใช้งานแทบไม่ได้แล้ว จากระดับแรงดันข้างต้นเป็นข้อแนะนำโดยทั่วไปว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรด ไม่ควรถูกตั้งกระแสจระดับต่ำไปกว่า 10.5 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ



ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนในการประจุไฟแก่แบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรด

ที่มา : อังคิรี ศรีภคการ (2554)

ตารางที่ 2.6 แรงดันขณะไม่รับภาระและระดับการประจุสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-น้ำกรด 12 โวลต์

ระดับการประจุ	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
แรงดันขณะไม่รับภาระ	12.70	12.50	12.42	12.32	12.20	12.06	11.90	11.75	11.58	11.31

ที่มา: อังคิรี ศรีภคการ (2554)

นอกเหนือจากประเด็นเรื่องพิถีพิถันความจุและพิถีพิถันกำลังไฟฟ้าอีก 3 ประเด็นที่สำคัญต่อการใช้งานแบตเตอรี่ในยานยนต์ ได้แก่ อายุการใช้งาน ราคา และความปลอดภัย ในยานยนต์ไฟฟ้าอายุของแบตเตอรี่จำเป็นต้องยาวนานเพียงพอ เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนในภาพรวมมีความเชื่อถือได้ในการใช้งานในยานยนต์ ข้อกำหนดในทางอุตสาหกรรม California Air Resources Board ได้กำหนดว่าอุปกรณ์ติดตั้งมาตรฐานกับระบบขับเคลื่อนของยานยนต์ต้องมีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี หรือ 240,000 กม. สำหรับประเด็นเรื่องราคานั้น ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมราคาในท้องตลาดสำหรับชุด

แบตเตอรี่อยู่ที่ราว 800-1200 เหรียญสหรัฐหรือ 24,000-36,000บาท ต่อ kwh ในขณะที่เป้าหมายของการพัฒนาอยู่ที่ราว 200 เหรียญสหรัฐหรือ 6,000 ต่อ kwh

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์รูปแบบต่างๆ

ประเภทของแบตเตอรี่	ตะกั่ว-น้ำกรด	นิเกิลเมทัลไฮไดรด์	ลิเทียมไอออน
ความจุพลังงาน Wh/kg	30-40	75-100	110-175
พลังงานต่อปริมาณ Wh/L	54-95	200-300	250-360
กำลังจำเพาะ W/kg	200-400 SLI 600-800 traction	200-300 portable 1000-1500 traction	300-400 portable 1500-3000 traction
แรงดันต่อหน่วยย่อย V	2.1	1.2	3.2-3.6
ประสิทธิภาพการประจุไฟ	>80%	70%	>95%
ราคา เหรียญสหรัฐ /กิโลวัตต์ ชั่วโมง	35 \$/kWh 100-150 traction	200-350 portable 500-800 traction	400 portable 500-1000 traction
การคายประจุด้วยตัวเอง	"0.3%/วัน	"3%/วัน	"0.7%/วัน
อายุวัฏจักรใช้งาน ที่ระดับการคายประจุ 80%	300-800	>1000	>2000
เวลาประจุไฟ	8 ชม.	1 ชม.	2-3 ชม.

ที่มา: อังคิรี ศรีภคการ (2554)

2.6 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ถือว่าพลังงานไฟฟ้าเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งพลังงานนี้เป็นพลังงานที่สะอาด และไม่สร้างมลภาวะใดๆหรือมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน (เซลล์แสงอาทิตย์, <http://www.charninenergy.com/pdf/solarell.pdf>)

2.6.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

2.6.2 จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

1. แหล่งพลังงานได้จากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมดและไม่เสียค่าใช้จ่าย
2. เป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม
3. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาดตั้งแต่เครื่องคิดเลข ไปจนถึงโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
4. ผลิตที่ไหนใช้ที่นั่น ซึ่งระบบไฟฟ้าปกติแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานอยู่คนละที่และจะต้อง มีระบบนำส่งแต่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่ใช้งานได้

2.6.3 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

โดยทั่วไปแล้วแผงโซลาร์เซลล์จะทำมาจากซิลิกอน (Sillicon) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) และชนิดเรียงผลึก (Multiaray) ซึ่งแบบชนิดเรียงผลึกยังสามารถแบ่งย่อยๆได้อีกสองแบบ คือแบบผสม (Poly crystalline) และผลึกเดี่ยว (Mono crystalline)



(1) Single Crystalline Silicon Solar Cell , (2) Polycrystalline Silicon Solar Cell , (3) Amorphous Silicon Solar cell

ภาพที่ 2.12 ชนิดของแผง Solar cell

ที่มา : ชนิดแผงโซลาร์เซลล์ ,<http://www.engineo.co.th/actical/solar%20pamodule%20selection.pdf>.

1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิด อะมอर्फัส

โดยส่วนใหญ่อะมอर्फัสจะผลิตแรงดันโวลต์สูงประมาณ 36-60 โวลต์ และมีค่าแอมป์ต่ำ จึงทำให้เหมาะสำหรับที่จะใช้กับระบบทำงานที่ต้องการแรงดันสูง เช่น ระบบปั้มน้ำ หรือระบบไฟฟ้าส่งสว่างที่ ระยะของสายไฟยาวๆ การใช้งานของแผงอะมอर्फัสต้องมีการเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมที่เหมาะสม เช่น เครื่องชาร์ตแบตเตอรี่ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแรงดันของแผง โดยทั่วไปไม่นิยมใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เพียงลูกเดียวเพราะจะทำให้สูญเสียแรงดันไปโดยเปล่าประโยชน์ ถ้าแผงอะมอर्फัสมีแรงดันทำงานที่ 48-60 โวลต์ ควรต่อแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ต่อแบบอนุกรมให้มีแรงดันที่ 48 โวลต์ ซึ่งการต่อแบตเตอรี่ลักษณะนี้จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากแผงโซลาร์เซลล์ได้สูงสุด ข้อเสียของแผงชนิดนี้คืออายุการใช้งานประมาณ 5-6 ปี ซึ่งถือว่าไม่มาก แต่แผงชนิดนี้จะมีราคาไม่แพงสามารถผลิตได้ในประเทศไทย ข้อควรพิจารณาคือประสิทธิภาพของแผงชนิดนี้ไม่สูงประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ดังนั้นการติดตั้งแผงชนิดนี้จึงต้องอาศัยพื้นที่มาก

1.2) แผงชนิดเรียงผลึก

แผงโซลาร์เซลล์นี้ทำมาจากการเรียงตัวของวาฟเฟอร์ (Wafers) หรือที่นิยมเรียกเซลล์ (Cell) และ นำมาเข้ากรอบโดยมีกระจกใสปิดอยู่ด้านหน้า วาฟเฟอร์ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำซึ่งอาจจะทำจากผลึกเดี่ยวหรือผลึกผสมแรงดันการใช้งานของแผงชนิดนี้อยู่ระหว่าง 16-20 โวลต์ แต่จะมีกระแสสูงขึ้นเมื่อจำนวนวัตต์เพิ่มขึ้นเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำวาฟเฟอร์มีความแตกต่างกันจึงสามารถแบ่งชนิดของแผงโซลาร์เซลล์แบบเรียงผลึกได้เป็นสองแบบ คือ

1.2.1) แบบผลึกผสม (Poly crystalline) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากซิลิกอนสองชนิดขึ้นไปมาทำละลายด้วยความร้อนสูงและทำให้เย็นกลายเป็นก้อนวาฟเฟอร์จากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นผลึกสีออกน้ำเงิน เมื่อสังเกตจะเห็นอย่างชัดเจนว่าแผ่นเซลล์นั้นมีวัสดุที่ทำมากกว่าหนึ่งอย่าง โดยทั่วไปลักษณะของเซลล์จะมีหลายรูปแบบทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกผสม

แผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะนิยมใช้มากกว่าแผงชนิดอะมอร์ฟัส เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่คงทนกว่าปกติสามารถใช้งานได้อย่างน้อยประมาณ 20 ปี การใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายกว่าเนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้มีโวลต์ที่คงที่คือประมาณ 17-18 โวลต์ ดังนั้นจึงง่ายสำหรับนำมาใช้งานทั่วไป โดยการใช้งานที่แรงดันนี้สามารถชาร์ตเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ได้เลยแต่ควรใส่ไดโอดเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับมายังแผงซึ่งอาจจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์เสียหายได้ สำหรับประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 12-15 เปอร์เซ็นต์

1.2.2) แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline) โซลาร์เซลล์ที่เป็นผลึกเดี่ยวมีแนวโน้มว่าจะได้รับความสนใจจากผู้ใช้งานเนื่องจากโซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะให้ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่สูงขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ และราคาไม่แตกต่างจากโซลาร์เซลล์ชนิดผสมเซลล์ผลึกเดี่ยวสามารถทำได้จากซิลิกอนมาแยกผลึกให้เหลือแต่ชนิดของผลึกที่ต้องการ

2.6.4 Charge controller

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์ตประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงโซลาร์เซลล์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็ว และเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องตัดการชาร์ตทันที (เครื่องควบคุมการประจุไฟ <http://www.ind.curru.ac.th/articleind/33.pdf>.)



รูปที่ 2.13 เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า

ที่มา : <http://www.ind.curru.ac.th/articleind/33.pdf>.

2.6.5 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์และวงจรไฟฟ้า (Solar Cell and Electronic Circuit)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell or Photovoltaic) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจาก สารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์(หรือแสงจากหลอดแสงสว่าง) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยตรงและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิด หนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆขณะใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ในการใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับซึ่งหาได้จากสูตรดัง ต่อไปนี้ การหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์, <http://www.engineo.co.th/actical/solar%20pamOdule%20selection.pdf>.) สามารถหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมา}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผ่นทั้งหมด}}$$

$$\eta_{solar} = \frac{W}{Q} = \frac{IV \times 100\%}{GA} \quad (2.10)$$

โดยที่

- I คือ กระแสที่ได้ออกมา (A)
- V คือ ความต่างศักย์ของไฟฟ้า (V)
- Q คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบบนแผง (W)
- G_{solar} คือ ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (W/m^2)
- A_{solar} คือ พื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

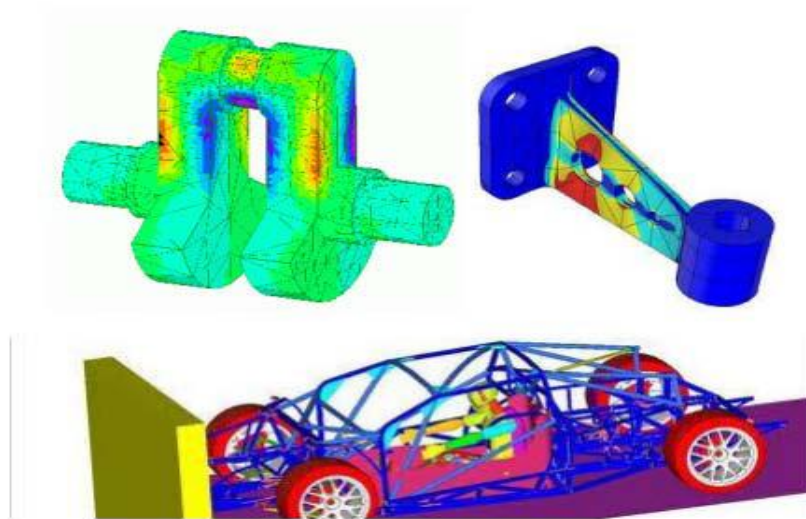
2.7 การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Engineering Problem Analysis Using the Finite Element Method)

การวิเคราะห์หาการกระจัด ความเค้น ความเครียดในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหรือโครงประกอบของเครื่องกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนหรือโครงประกอบที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดา ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการคำนวณมากขึ้น จึงทำให้การวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำได้ละเอียด ถูกต้อง รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย (ปราโมทย์ เตชะอำไพ : 2552).

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

- การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ
- การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์
- การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์
- การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้สมการระบบใหญ่
- การคำนวณหาค่าอื่นๆ ที่เหลือ

อย่างไรก็ตามการที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงนั้น ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในหลายๆ ด้าน นับตั้งแต่คณิตศาสตร์ขั้นสูง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ความเข้าใจในส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และประสบการณ์การใช้กราฟฟิกส์ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

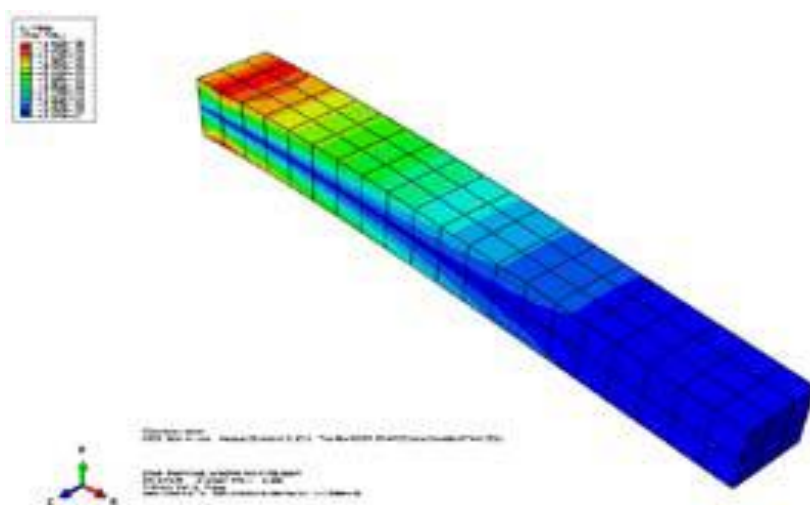


ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ที่มา: ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2552)

2.7.1 แนวทางการวิเคราะห์ที่ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

- การเรียกใช้โปรแกรม Solidworks
- สร้างและวิเคราะห์โมเดล Pate Solidwork เข้าไปในโปรแกรม Solidworks Simulation
- การสร้างและกำหนดชนิดวัสดุของชิ้นงาน

- การสร้างและการกำหนด section properties
- การประกอบโมเดล (Assembling the model) ถ้ามีหลายชิ้นงานมาประกอบกัน
- สร้างขั้นตอนการวิเคราะห์ (Creating an analysis step)
- ขั้นตอนการกำหนดผลลัพธ์ที่จะแสดงผลออกมา (Requesting data output)
- การกำหนดค่าสถานะขอบกับภาระกระทำ
- การสร้าง Mesh ให้กับโมเดล
- การสร้าง Analysis Job และการ Run

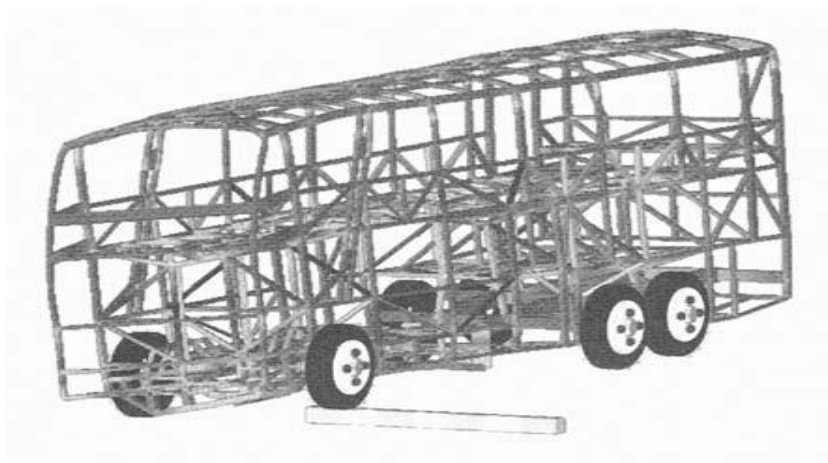


ภาพที่ 2.15 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์คานโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ที่มา: ธีรพัฒน์ ชมพุดำ (2555)

2.7.2 รูปแบบการนำไฟไนต์เอลิเมนต์ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

จากโครงสร้างรถบัสขนาดใหญ่ที่ออกแบบและประกอบได้เกิดการเสียรูปของโครงสร้างอย่างถาวรหลังจากนำมาวิ่งใช้งานบนถนนของประเทศไทย ผู้ประกอบการจึงทดสอบความแข็งแรง แต่ไม่ต้องการเพิ่มน้ำหนักของตัวรถ โครงสร้างของรถบัสประกอบไปด้วยเหล็กท่อนเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์ได้สร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการใช้เอลิเมนต์แบบคาน (Beam element) จำนวนมากสำหรับโครงสร้างรถทั้งคัน และวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกัน ทั้งแบบที่เกิดขึ้นจากการหักเลี้ยวรถอย่างกะทันหัน หรือจากการที่ล้อใดล้อหนึ่งของรถข้ามหรือทับสิ่งกีดขวาง และจากการที่รถเบรกแบบกะทันหัน เงื่อนไขเหล่านี้ก่อให้เกิดความเค้นสูงบนเอลิเมนต์คานในตำแหน่งที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์จึงต้องเสริมความแข็งแรงไปบนเอลิเมนต์คานให้ถูกจุด ผลจาก

การวิเคราะห์นี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงของทั้งโครงสร้างขึ้นไปได้ถึง 80% และสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้างลงไปได้อีก 10% ส่งผลให้ประหยัดน้ำมันและมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 2.16 การทดสอบโครงสร้างรถบัสด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2552)

2.7.3 ค่าความปลอดภัย

ในการผลิต การออกแบบชิ้นงาน เครื่องจักร เครื่องก่อสร้าง หรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน หรือที่หน้างานก่อสร้าง เมื่อจะดำเนินการใดๆ ก็ตามจะต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงหรือกำลังต่างๆ ที่มากระทำกับเครื่องจักรหรือเครื่องมือก่อสร้างต่างๆ มีมากเกินไปกว่ากำลังที่เครื่องจักร หรือเครื่องมือก่อสร้างนั้นๆ จะรับได้ ค่าเผื่อดังกล่าวเรียกว่า ค่าความปลอดภัย (ชุมพล ศฤงคารศิริ ; 2545) ในการออกแบบ โดยปกติเราจะทราบรูปร่างของชิ้นงานตามหน้าที่การใช้งานของมันพร้อมกับแรงหรือกำลังที่จะมากระทำกับชิ้นงานนั้นๆ ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้เพื่อที่จะสามารถเลือกชนิดของวัสดุที่จะนำมาทำเป็นชิ้นงานได้ จะต้องทราบค่าความปลอดภัยก่อน โดยค่าความปลอดภัยที่เราจะเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของแรงหรือกำลังที่มากระทำกับชิ้นงานว่าจะเป็นแรงประเภทอยู่นิ่งๆ ดังสมการ

$$\text{Factor of safety} = (\text{Material Strength})/(\text{Design Load}) \quad (2.10)$$

เมื่อ

Factor of safety = ค่าความปลอดภัยในการออกแบบชิ้นงานที่มีการรับภาระงาน (FOS)

Material Strength = ค่าความแข็งแรงของวัสดุ

Design Load = ค่าความแข็งแรงหรือภาระในชิ้นงานจริงจากการออกแบบ

ตารางที่ 2.8 ค่า Factor of safety ที่เหมาะสมในการออกแบบชิ้นงานตามชนิดวัสดุ 3 ประเภท

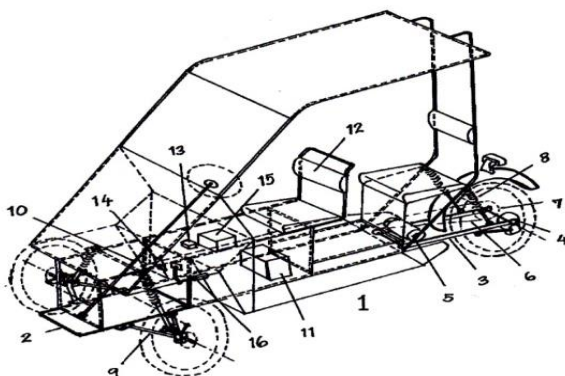
ชนิดของแรงที่มากระทำกับชิ้นส่วน	วัสดุที่คาดว่าจะนำมาทำเป็นชิ้นงาน	
	เหล็กเหนียว	เหล็กเหนียว
แรงอยู่นิ่ง	3-4	5-6
แรงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา	8	10
แรงกระแทกอย่างหนัก	10-15	15-20

ที่มา: ชุมพล ศฤงคารศิริ (2545)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรพันธ์ คำดี วัฏพงษ์ บริบูรณ์ และสิทธิชัย สังข์แก้ว (2554) ได้ทำการออกแบบและสร้างรถสามล้อไฟฟ้าร่วมเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และสมรรถนะการทำงานของรถสามล้อไฟฟ้า โดยออกแบบให้มีล้อหน้า 2 ล้อ ล้อหลัง 1 ล้อ มีขนาด 20 นิ้ว ประกอบด้วยโครง สร้างของรถมีขนาด 0.68 m x 1.725 m x 0.145 m ทำด้วยเหล็กแป๊บเหลี่ยม 1.9 x 1.9 cm หนา 2 mm ติดตั้งระบบบังคับเลี้ยวแบบออคเคมานันไวท์ 2 ล้อหน้าขับเคลื่อนด้วยระบบส่งกำลัง 7 ระดับต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง DC ขนาดกำลัง 750 W แรงดันไฟฟ้า 24 V ที่ล้อหลังโดยมีแบตเตอรี่ 12 V 2 ตัว ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ระบบเป็น 24 V โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนชนิดพหุผลึกขนาด 1491 mm x 671 mm x 46 mm ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 130 W แรงดันไฟฟ้า 12 V จำนวน 1 แผง ต่อเข้ากับชุดควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันไฟฟ้าปรับได้ 12/24/48 V รับกระแสไฟฟ้าได้ สูงสุด 60 แอมแปร์ อาศัยตัวสับสวิตช์ 6 ขา ชนิด ON-ON เข้าแบตเตอรี่ 12 V สลับกันทีละก้อน โดยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะนำไปใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนตัวรถด้วยวิธีการของการผสมสัญญาณตามความกว้างพัลส์วิดโมดูเลเตอร์ PWM (Pulse Width Modulation) รับสัญญาณแรงดันจากการจากการบิดคันเร่งมาควบคุมความกว้างพัลส์ (duty cycle) ที่จะนำไปส่งให้กับวงจรขับเคลื่อนเพื่อทำการปรับความเร็วของมอเตอร์ โดยใช้ชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ในการสร้างและประกอบรถไฟฟ้าสามล้อทำการทดสอบโดยมี ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ การทดสอบระบบบังคับเลี้ยว การทดสอบระบบเบรกการทดสอบอัตราความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้า การทดสอบหาอัตราการเร่งของรถไฟฟ้าและการทดสอบอัตราการใช้พลังงานของไฟฟ้า จากผลการทดสอบพบว่าระบบบังคับเลี้ยวมีรัศมีความโค้งเฉลี่ย 2.33 m อัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ 19.68 km/hr ที่เกียร์ 7 มีระยะเบรกสูงสุดเท่ากับ 5.05 m และใช้เวลาในการเบรกรถเท่ากับ 3.20 วินาที เมื่อประจุไฟฟ้า 220 V เข้าแบตเตอรี่ใน 1 ครั้ง

วิทยา แก้ววัฒนะ (2555) ได้ประดิษฐ์รถสามล้อขับเคลื่อนล้อหลังด้วยไฟฟ้าแบบสองล้อหน้า และหนึ่งล้อหลัง จุดมุ่งหมายเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการใช้งานทั่วไปในชีวิตประจำวันและเฉพาะด้าน โดยได้กำหนดแนวทางการสร้างด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทนการใช้พลังงานน้ำมันเพื่อช่วยลดมลภาวะจากการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม มีขนาดที่เหมาะสมและสะดวกต่อการควบคุมการบังคับเลี้ยวหรือการหยุดรถกระทำได้ง่ายขึ้น การประจุไฟฟ้าแต่ละครั้งสามารถเดินทางได้ระยะทางหลายสิบกิโลเมตร โดยมีสมรรถนะการทรงตัว การควบคุม การบังคับเลี้ยว และการหยุดรถที่มีประสิทธิภาพดี โดยมีโครงสร้าง ใช้ท่อเหล็กตัดขึ้นรูปเชื่อมต่อเป็นโครงสร้างแบบรูปกล่อง ติดตั้งอยู่บนล้อแบบสองล้อหน้าและหนึ่งล้อหลังมีเบาะนั่งคนขับและผู้โดยสารจำนวน 2 ที่นั่งอยู่ด้านบนระหว่างล้อหน้าและล้อหลัง มีระบบบังคับเลี้ยวด้วยพวงมาลัยหรือมือจับ ส่งแรงผ่านคันขับส่งไปยังดุมล้อหน้าซ้าย ขวา ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า มีมอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน มีกล่องควบคุมเป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ มีสวิตช์และเมนรีเลย์ในการควบคุมการเคลื่อนที่เดินหน้า และถอยหลังมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ใต้ที่นั่งคนขับ ระบบกันสะเทือนล้อหน้า แบบปีกนกชั้นเดียวประกอบโช้คอัพ และคอนสปริง ระบบเบรก แบบดิสก์เบรกติดตั้งบนดุมล้อหลัง



ภาพที่ 2.17 รถสามล้อขับเคลื่อนล้อหลังด้วยไฟฟ้าแบบสองล้อหน้าและหนึ่งล้อหลัง

ธันต์ ศรีสกุล (2555) ได้มีการวิจัยพัฒนารถโกคาร์ทไฟฟ้าประยุกต์ใช้งานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าไปขับเคลื่อนมอเตอร์ DC ที่มีขนาด 24V 500W ที่มีอัตราทด 1:5 (530 RPM) และสามารถควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ได้จากผู้ใช้งานให้มีประสิทธิภาพในการใช้มากขึ้น สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็ว ประมาณ 40-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่ความเร็วจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของผู้ขับขี่และระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะอยู่ที่ประมาณ 35 นาที ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีในการออกแบบวงจรเพื่อให้เป็นแนวทางในการสร้างวงจรและการนำวงจรที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนางจรให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้นต่อไปและอาจจะนำมาใช้ในการสร้างรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางที่ไม่ไกลมากนักในช่วงที่ราคาน้ำมันนับวันก็จะสูงขึ้นและก็จะคงจะสูงขึ้นไปอีกอย่างแน่นอน



ภาพที่ 2.18 รถโกคาร์ทไฟฟ้า รุ่นที่2

ที่มา: ธนันต์ ศรีสกุล (2555)

วิรุณ โมนะตระกูล และวสันต์ เขียรสุวรรณ (2557) ได้ออกแบบและพัฒนาสร้างสามล้อเครื่องไฟฟ้าต้นแบบเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์โดยร่วมกับบริษัท อารังไทย 2003 จำกัด ทำการออกแบบสามล้อไฟฟ้าให้มีรูปทรงที่ทันสมัยสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิงและลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมโดยกลุ่มเป้าหมายเป็นในส่วนผู้ประกอบการอุตสาหกรรมท่องเที่ยว จากการทดสอบประสิทธิภาพรถสามล้อไฟฟ้า รถสามล้อสามารถวิ่งได้ระยะทาง 52 km ใช้เวลาวิ่งทั้งหมด 2 ชั่วโมง 20 นาที ความเร็วสูงสุดที่ 47 km/hr สามารถรักษาความเร็วสูงสุดไว้ได้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ความสามารถในการขึ้นเนิน สามารถขึ้นได้ 35 องศา (แบบมีคนบรรทุก) ระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ 7 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพที่ได้ใกล้เคียงเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดเดียวกันซึ่งผลตอบรับเป็นที่พึงพอใจต่อผู้ประกอบการและผู้ที่สนใจเป็นอย่างดี โดยเป็นลักษณะยานยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในรูปแบบสามล้อเครื่องทั่วไปที่ใช้ความเร็วต่ำและสามารถบำรุงรักษาได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 2.19 สามล้อไฟฟ้าต้นแบบ
ที่มา: วิรุณ โมนะตระกูล (2557)

เรืองยศ วังหาร สมศักดิ์ เกื้อนธรรมโรง และนายสรศักดิ์ สมจันทร์ (2557) ได้ออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 ที่นั่งมีความกว้าง 1.5 เมตร ความยาว 2.5 เมตร และความสูง 1.2 เมตร สามารถควบคุมรถให้เดินทางถอยหลังได้และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 5,000 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนโดยมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์จำนวน 4 แผง ต่ออนุกรมกันเป็นแหล่งประจุไฟฟ้าเสริมให้แก่แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 45 แอมป์ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกันเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการควบคุมมอเตอร์ในการขับเคลื่อน ผลการทดสอบพบว่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่มีค่าแรงเคลื่อนเท่ากับ 53.4 โวลต์ และค่ากระแสเท่ากับ 4.2 แอมป์และพบว่าสมรรถนะของรถไฟฟ้ามีรัศมีวงเลี้ยวแคบสุดเท่ากับ 5.81 เมตร โดยผลการทดสอบวิ่งความเร็ว 10 , 20 และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทาง 55.8 , 41.5 และ 26.9 กิโลเมตร โดยคิดเพิ่มเป็นเปอร์เซ็นต์จากที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 25.1 , 24.8 และ 18.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดสอบหาค่าการกินกระแสและค่าพลังงานที่ใช้ต่อระยะทาง 2 กิโลเมตร ที่ความเร็วต่ำจะมีการใช้พลังงานน้อย และเมื่อทดสอบที่ความเร็วสูงขึ้นจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

ที่สูงขึ้นตาม โดยที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 192.1 กิโลจูลที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 239.2 กิโลจูลและที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 312.1 กิโลจูล

นักท วจนเทพินทร และคณะ (2559) ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกับแบตเตอรี่ และทดสอบผลการใช้พลังงานของรถต้นแบบฯ ในสถานะในการใช้งานจริง รถไฟฟ้าต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีตัวถังทำด้วยไฟเบอร์กลาส ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 2 กิโลวัตต์ เพื่อประจุไฟฟ้าใช้แผงโซลาร์เซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวแบบอ่อนตัวได้ มีกำลังผลิตตั้งขนาด 480 วัตต์ เพื่อประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 132 แอมแปร์ชั่วโมง มีน้ำหนักตัวรถ 173 กิโลกรัมและน้ำหนักกรรวมน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 233.4 กิโลกรัม ที่ระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร ผลการทดสอบพบว่าเมื่อใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า รถต้นแบบวิ่งได้ที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 45.98 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อทดสอบโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ารถต้นแบบวิ่งได้นานขึ้นโดยอัตราความเร็วเฉลี่ย 51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง องค์ความรู้ที่ได้จากการออกแบบและสร้างรถต้นแบบในครั้งนี้สามารถประยุกต์เพื่อพัฒนาใช้ในการแข่งขันได้จริงในอนาคตต่อไป

อันดามัน บุตรบุรุษ และคณะ (2560) ได้การศึกษาและสร้างรถสามล้อไฟฟ้าอเนกประสงค์มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์รถสามล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บในแบตเตอรี่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เพื่อส่งเสริม สนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้ ทักษะ และเจตคติในกระบวนการผลิต เพื่อทดสอบสมรรถนะของรถสามล้อ ไฟฟ้าอเนกประสงค์ และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรต่อการนำไปใช้งานจริง โดยรถสามล้อ ไฟฟ้าอเนกประสงค์มีหลักการทำงานดังนี้ คือ เริ่มจากแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 20 แอมแปร์ จ่ายกระแสไฟฟ้าไปกล่องควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 48 โวลต์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขนาด แรงม้า 850 วัตต์ หลังจากนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าจะส่งกำลังผ่านชุดเฟืองท้าย และส่งกำลังไปยังเพลาช่างทั้ง สองเพื่อขับเคลื่อน ทำให้ล้อรถสามารถหมุนเคลื่อนที่ได้ ผลการออกแบบ การสร้าง และการทดลอง สมรรถนะของรถสามล้อไฟฟ้าอเนกประสงค์พบว่า รถสามล้อไฟฟ้าอเนกประสงค์มีขนาดความยาวของรถ เท่ากับ 250 เซนติเมตร ความกว้างของรถเท่ากับ 97 เซนติเมตร ความสูงของรถเท่ากับ 120 เซนติเมตร สามารถรองรับน้ำหนักได้ไม่น้อย 100 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดที่สามารถขับเคลื่อนได้เท่ากับ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่รถวิ่งโดยไม่มีน้ำหนักบรรทุก และสามารถวิ่งขึ้นที่ลาดชัน 1:8 ได้ และเกษตรกรที่ใช้งานรถไฟฟ้ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก